

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-067130

(43)Date of publication of application : 11.03.1994

(51)Int.Cl.

G02F 1/035  
G02B 6/26

(21)Application number : 04-216792

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 14.08.1992

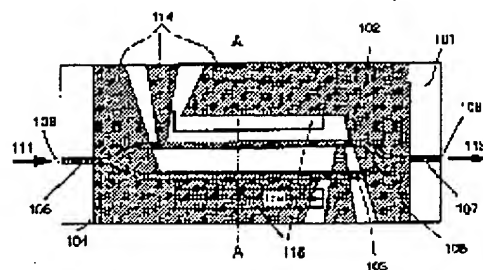
(72)Inventor : MIYAZAWA HIROSHI  
MITOMI OSAMU  
NOGUCHI KAZUTO

## (54) LIGHT CONTROL ELEMENT

### (57)Abstract:

PURPOSE: To obtain the stable output of light by preventing output characteristics of light from shifting caused by internal stress during manufacturing a device composed of an electrooptical crystal or by internal stress due to the difference of thermal expansion between a substrate and buffer layer, electrode, package, etc.

CONSTITUTION: This light control element consists of a substrate 101 having an electrooptical effect equipped with at least one optical waveguide 101-107 in the vicinity of the surface, a buffer layer formed on the substrate 101, and electrodes 114 disposed on the buffer layer. At least one of substrate 101, buffer layer and electrode 114 is provided with the grooves 115 of specified width, length and depth at the position in the vicinity of the optical waveguides 102, 103 so that the grooves do not affect the distribution of the electric field of light propagating through the waveguides.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-67130

(43)公開日 平成 6年(1994) 3月11日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 F 1/035

G 0 2 B 6/26

7132-2K

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平4-216792

(22)出願日 平成 4 年(1992) 8 月14日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目 1 番 6 号

(72)発明者 宮澤 弘

東京都千代田区内幸町一丁目 1 番 6 号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 三富 修

東京都千代田区内幸町一丁目 1 番 6 号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 野口 一人

東京都千代田区内幸町一丁目 1 番 6 号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 秋田 収喜

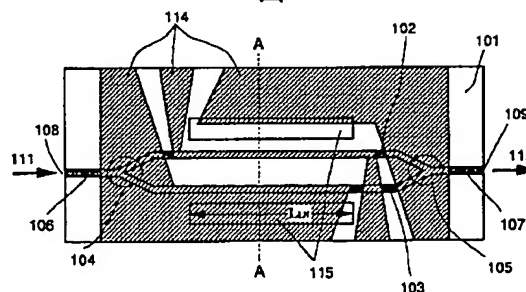
(54)【発明の名称】 光制御素子

(57)【要約】

【目的】 電気光学結晶からなるデバイスの作製時の内部応力や、基板とバッファ層あるいは、電極、パッケージ等との熱膨張差による内部応力等に起因する光出力特性のシフトを防止し、安定した光出力を得る。

【構成】 少なくとも 1 本の光導波路を表面近傍に備えた電気光学効果を有する基板と、該基板上に形成されたバッファ層と、該バッファ層上に配置された電極とで構成される光制御素子において、前記基板 101、バッファ層 113、電極 114 のうち少なくとも 1 つの、光導波路 102、103 の近傍でかつ光導波路を伝搬する光波の界分布に影響を与えない程度離れた位置に、所定の幅、長さ及び深さの溝 115 を設ける。

図 1



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも1本の光導波路を表面近傍に備えた電気光学効果を有する基板と、該基板上に形成されたバッファ層と、該バッファ層上に配置された電極とで構成される光制御素子において、前記基板、バッファ層、電極のうち少なくとも1つの光導波路の近傍でかつ光導波路を伝搬する光波の界分布に影響を与えない程度離れた位置に、所定の幅、長さ及び深さを有する溝を設けたことを特徴とする光制御素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光波の変調、光伝送路の切り替え等を行う能動的な光デバイスとしての光制御素子、特に、基板中に設けられた光導波路を用いて制御を行う導波路形の光制御素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、光通信システムの実用化が進むにつれ、超大容量、高機能のシステムが要求されている。そのため、より高速の光信号の発生、光伝送路の切り替え、光伝送路の交換等の新たな機能の付加が必要とされている。

【0003】現在の實用システムにおいては、光信号は、半導体レーザや発光ダイオードの注入電流を直接変調することによって得ているが、このような内部変調に対して外部で変調を行う高速の光変調器や光スイッチ等の光制御素子が必要となっている。

【0004】高速の光制御素子としては、電気光学効果を利用する光制御素子が代表的であり、方向性結合器形の光変調器やスイッチ、全反射形光スイッチ、マッハツェンダ形の光変調器やスイッチに関する報告がなされている。

【0005】例えば、10Gb/s以上の超高速信号の変調器、あるいは、スイッチング素子として、電気光学結晶であるLiNbO<sub>3</sub>結晶中にTiを拡散して形成した光導波路を利用する素子があり、マイクロ波と光波との速度整合を行った進行波電極を用いることにより20GHz程度の変調帯域の値が得られている。

【0006】このような光変調器の従来例を図9及び図10に示す。図9は概略平面図、図10は図9のA-A線断面図である。この光変調器は、マッハツェンダ形であり、電気光学効果を有するzカットLiNbO<sub>3</sub>の基板101の上に、一対の幅数〜数十μm、長さ数〜数十mmの光導波路102、103を互いに平行に数十μmの間隔で近接した一対の光導波路を設け、この光導波路上にそれぞれ進行波電極114を設け、光導波路102、103と一組の電極114との間に、電極による光吸収を防止するためのバッファ層(SiO<sub>2</sub>膜)113を介在させている。これらの光導波路102、103と一組の電極114とにより、二つの位相変調形の光制御素子が構成される。

2

【0007】また、基板101の一端部上には、端面に入射端108を持つ入力光導波路106が形成され、この入力光導波路106と位相変調部光導波路102、103とが、3dBのY分岐部光導波路104により接続されている。同様に、基板101の他端部上にも、入射端108の反対側端面に出射端109を持つ出力光導波路107が形成され、この出力光導波路107と位相変調部光導波路102、103とが、3dBのY合波部光導波路105により接続される。なお、分岐・合波部光導波路104、105の開き角は数mradであり、各光導波路のパターン幅は5〜10μmである。

【0008】次に、図9の光変調器の動作を説明する。入射端108への入射光111は、入射光導波路106を通過して3dB分岐部光導波路104に導かれ、位相変調部光導波路102と103とに分岐する。ここで、この光導波路102と103とは、光導波路の幅及び長さが全く等しい光導波路である。このような光変調器に駆動電圧が供給されると、この光変調器では、電極114間に電界が加わる。LiNbO<sub>3</sub>基板101は電気光学効果を有するので、この電界により屈折率変化を生じる。その結果、二本の光導波路102、103を伝搬する光の位相にずれが生じる。このずれがπ(ラジアン)になった場合、マッハツェンダ形光導波路の合波部105で高次モードを励振し、出射光はOFF状態となる。

【0009】従って、出射光112は、印加電圧に対して正弦波状に変化し、図13の実線で示すような光出力特性を示す。なお、図13において、光出力をon/offさせるのに必要な電圧を半波長電圧V<sub>π</sub>としている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】前述のような従来の光変調器構造において、半波長電圧V<sub>π</sub>を小さくするため、電気光学定数が最大となるようにデバイスを構成している。即ち、光導波路を伝搬する光の偏光をz軸方向とし、印加する電界の方向もz軸方向としているため、図10に示したように電極114が光導波路102、103の直上に配置される。そのため、電極114による光吸収を防止すべく、電極114と光導波路102、103との間にSiO<sub>2</sub>膜を形成してバッファ層113としている。このSiO<sub>2</sub>バッファ層113の厚さは、通常0.4μm程度必要である。

【0011】このようにバッファ層113がある状態で、電極114にバイアス電圧123を印加すると、電気力線124は、図10中で示すような形態となり、光導波路に実効的に印加される電界は、バッファ層113がない状態より小さくなる。これは、基板101や光導波路102、103、及びバッファ層113をコンデンサ及び抵抗体に置き換えた図8で示す等価回路で説明することができる。図11において、R1及びC1は、それぞれ、LiNbO<sub>3</sub>基板と光導波路部を合わせた実効

的な抵抗及び静電容量である。R2及びC2は、それぞれ、バッファ層113の実効的な抵抗及び静電容量である。

【0012】このような従来の光変調器において、図12に示すように、バイアス電圧Veを一定電圧で印加した状態で長時間動作させると、光導波路に印加される実効的な電圧Vwの大きさは、初期(t=0)においては、静電容量C1及びC2の大きさで決まる値、すなわち、Ve印加直後の光導波路に印加される実効的な電圧Vw1(=C2/(C2+C1))になる。また、充分に長い時間経過した後(t=∞)には、Vwの大きさは抵抗R1及びR2の大きさで決まる値、すなわち、Ve印加後充分時間を経たときの光導波路に誘起される実効的な電圧Vw2(=R1/(R1+R2))に収束する。このように、動作点が経時的に変動し、光出力特性がシフトする、いわゆるDCドリフト現象が生じる。この状態は、図13の点線で示すような特性となる。

【0013】このため、バイアス電圧Veをその動作点変動に応じて変動させる動作点ロッキング制御法を行なう必要がある。この場合、C1R1>C2R2の場合では、Vw1<Vw2となるために、バイアス電圧Veは減少し最終的に飽和し安定する。一方、C1R1<C2R2の場合では、Vw1>Vw2となるために、バイアス電圧VeはVw1/Vw2(>1)倍にする必要が生じる。この時、Vw1>>Vw2となり、動作点ロッキング制御の制御範囲を越えてしまい制御不可能な状態となる。

【0014】R1、C1、R2、C2の値は、電極の形状と、LiNbO<sub>3</sub>基板101あるいはバッファ層113の抵抗率や誘電率によって決まる。ここで、LiNbO<sub>3</sub>のバルク結晶の抵抗率及び誘電率は室温において、 $\rho \sim 10^{17} \Omega \text{cm}$ 、及び $\epsilon \sim 35$ である。SiO<sub>2</sub>薄膜の抵抗率及び誘電率は、製法や製作条件等により異なり、大体 $\rho \sim 10^{15} \Omega \text{cm}$ 、及び $\epsilon \sim 4$ 程度の値である。よって、R1 $\sim 10^{17} \Omega$ 、R2 $\sim 10^{15} \Omega$ 、C1 $\sim C2 \sim$ 数pFとなり、C1R1<C2R2の場合となり、安定した動作となる。

【0015】しかしながら、デバイスを製作する過程において加わる加工歪、あるいは基板結晶内歪等の影響により、LiNbO<sub>3</sub>基板に応力が発生する。例えば、プラズマ化学気相堆積法(PCVD法)等でSiO<sub>2</sub>バッファ層113を形成する際に、通常、薄膜内に10<sup>8</sup>Pa(パスカル)程度の内部応力が発生する。この内部応力によってLiNbO<sub>3</sub>基板101が応力を受けるため、LiNbO<sub>3</sub>基板101が反ってしまう。

【0016】LiNbO<sub>3</sub>基板中の応力 $\sigma_L$ は、SiO<sub>2</sub>バッファ層中の応力を $\sigma_s$ とすると、次式で与えられる。

【0017】

$$\text{【数1】} \quad \sigma_L = a \cdot \sigma_s \cdot (d_s / d_L)$$

ここで、a:比例定数、 $d_L$ :LiNbO<sub>3</sub>基板の厚み、 $d_s$ :SiO<sub>2</sub>バッファ層の厚みである。内部応力の様子は、図10中に矢印で示している。

【0018】この内部応力は、LiNbO<sub>3</sub>結晶のエネルギーバンド構造を変化させ、抵抗率 $\rho_L$ を変える。抵抗率の変化 $\Delta \rho_L (= \rho_{L0} - \rho_{L\infty})$ は、次式で与えられる。

【0019】

$$\text{【数2】} \quad \Delta \rho_L / \rho_{L0} \approx \Pi \cdot \sigma_L$$

ここで、 $\rho_{L0}$ :応力のないときのLiNbO<sub>3</sub>の抵抗率、 $\Pi$ :ピエゾ抵抗係数である。

【0020】一方、SiO<sub>2</sub>バッファ層は非晶質であるため、応力による抵抗率変化は、結晶と比較して非常に小さい。従って、内部応力によってSiO<sub>2</sub>バッファ層の抵抗率と比較して、LiNbO<sub>3</sub>基板の抵抗率が大きく減少することになる。

【0021】以上述べたように、バッファ層113が形成されていると、LiNbO<sub>3</sub>基板101に内部応力121が存在し、LiNbO<sub>3</sub>の光導波路102、103近傍の抵抗率が減少する。例えばR1が $\sim 10^{17} \Omega$ となり、バッファ層の抵抗率より小さくなる。すなわち、C1R1<C2R2で、Vw1>>Vw2の状態になり、DCドリフトを動作点ロッキング制御法を用いても制御不可能になってしまうという問題があった。

【0022】また、LiNbO<sub>3</sub>基板101の熱膨張係数は、SiO<sub>2</sub>膜の熱膨張係数と大きく異なり、使用環境温度等の変化によっても、内部応力121が随時変化することになる。また、電極114、あるいはパッケージ用ケース材料等と基板101においても同様な熱膨張係数に差があるため、上述と同様の問題があった。

【0023】さらに、LiNbO<sub>3</sub>基板101は、電歪効果(圧電逆効果)も有するため、外部印加電界の変化により上述した現象と同様に基板が歪んで、内部応力121が随時変化し、上述と同様の問題があった。

【0024】本発明は、前述の問題点を解決するためになされたものであり、本発明の目的は、電気光学結晶からなるデバイスの作製時の内部応力や、基板とバッファ層あるいは、電極、パッケージ等との熱膨張差による内部応力等に起因する光出力特性のシフトを防止し、安定した光出力を得ることが可能な光制御素子を提供することにある。

【0025】本発明の前記ならびにその他の目的及び新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかにする。

【0026】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するために、本発明は、少なくとも1本の光導波路を表面近傍に備えた電気光学効果を有する基板と、該基板上に形成されたバッファ層と、該バッファ層上に配置された電極とで構成される光制御素子において、前記基板、バッファ

層、電極のうち少なくとも1つの、光導波路の近傍でかつ光導波路を伝搬する光波の界分布に影響を与えない程度離れた位置に、所定の幅、長さ及び深さの溝を設けたことを最も主要な特徴とする。

【0027】

【作用】前述の手段によれば、基板のパッファ層あるいは電極には、作製時あるいは使用時に内部応力が生じようとするが、基板、パッファ層あるいは電極の、光導波路近傍かつ光導波路を伝搬する光波の界分布に影響を与えない程度離れた位置に所定の幅、長さ及び深さの溝が形成されていると、各々の溝において応力が開放されるために、光導波路に加わる内部応力が無くなり、光導波路の抵抗率減少が生じることがなくなる。また、熱や電歪効果による応力は、上記溝で開放されるため、同様に光導波路の抵抗率減少が生じなくなる。これにより、正常な正弦波状の光出力を安定して出力することができ

る。

【0028】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の一実施例を詳細に説明する。

【0029】なお、実施例を説明する全図において、同一機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0030】（実施例1）図1は、本発明をマッハツェンダ形的光変調器に適用した実施例1の概略構成を示す平面図、図2は図1のA-A線断面図である。なお、従来と同様あるいは相当する部分には同一符号を付してある。

【0031】図1において、マッハツェンダ形光変調器は、電気光学効果を有するzカットLiNbO<sub>3</sub>の基板101の上に、Ti熱拡散の後にリッジ加工を施した一対の光導波路102、103（幅数〜数十μm、長さ数〜数十mm、間隔数十μm）を平行に近接配置している。この光導波路102、103近傍に、幅W<sub>L</sub>、深さD<sub>L</sub>、長さL<sub>L</sub>の応力開放溝115を形成している。さらに、光導波路102、103上に一組の進行波電極114を形成し、光導波路102、103と一組の電極114との間に、電極による光吸収を防止するためのパッファ層（SiO<sub>2</sub>膜）113を介在させている。これらの光導波路102、103と一組の電極114により、二つの位相変調形の光制御素子が構成される。

【0032】また、基板101の一端部上には、端面に入射端108を持つ入力光導波路106が形成され、この入力光導波路106と位相変調部光導波路102、103とが、3dBのY分岐部光導波路104により接続されている。同様に、基板101の他端部上にも、入射端の反対側端面に出射端109を持つ出力光導波路107が形成され、この出力光導波路107と位相変調部光導波路102、103とが、3dBのY合波部光導波路105により接続される。なお、分岐・合波部光導波路

104、105の開き角は数mradであり、各光導波路のパターン幅は5〜10μmである。

【0033】以上のような構成において、電極114間に電界が加わると、LiNbO<sub>3</sub>基板の電気光学効果により、二本の位相変調光導波路102、103を伝搬する光の位相にずれが生じる。このずれがπになると、合波部光導波路105における高次モードの励振により光はOFF状態となる。従って、出射光112は、印加電圧に対して正弦波状に変化する。

【0034】図3は、本発明の原理を説明するための図であり、基板に形成した溝115の幅W<sub>L</sub>、深さD<sub>L</sub>、及び長さL<sub>L</sub>と、光導波路近傍に誘起される応力σ<sub>L</sub>、121、及び光導波路近傍の抵抗率ρ<sub>L</sub>との関係の概略を示す。なお、実際には応力及び抵抗率は分布を示すが、詳細には、有限要素法等の応力解析を行なうことによって求めることができる。この図3からわかるように、溝の幅、深さ、あるいは長さが大きくなる程、誘起される応力121が低下し、抵抗率の減少が抑制されることがわかる。

【0035】実際には、溝115の幅W<sub>L</sub>としては光導波路幅と同程度から数倍の大きさ、また、溝115の深さD<sub>L</sub>としては光導波路深さの大きさと同程度から数倍の大きさ、さらに、溝115の長さL<sub>L</sub>は、位相変調部の長さと同程度であれば、LiNbO<sub>3</sub>の抵抗率の減少はかなり抑えられる。なお、図1の構成において、光導波路に沿った方向に複数の溝を並べて形成してもよい。

【0036】（実施例2）図4は、本発明の実施例2の概略構成を示す断面図であり、基板101に形成した溝115の方向とパッファ層113に形成した溝116の方向を同一方向としたものである。ここでは、パッファ層113に基板101に形成した溝115とはほぼ同じ位置に溝116を形成した場合である。ここで、パッファ層113の溝116部分は、光導波路を伝搬する光波の界分布に影響を与えなければ、完全に除去してもよい。

【0037】（実施例3）図5は、本発明の実施例3の概略構成を示す平面図、図6は図5のB-B線断面図であり、基板101に形成した溝115と交差させるようにパッファ層113に溝117を形成したものである。

【0038】これにより、後述する図10に示す応力の方向と直交する方向、すなわち、光導波路の伝搬方向に対する応力も緩和することができる。溝の深さは、光導波路を伝搬する光波の界分布に影響を与えない程度に深くしてもよい。また、溝115と溝116は直交していてもよい。

【0039】（実施例4）図7は、本発明の実施例4の概略構成を示す断面図、図8は、図7のA-A線断面図であり、基板101に形成した溝115の方向と電極114に形成した溝118の方向を同一方向としたものである。この構成により、電極114によって誘起される応力を低減することができる。ここで、パッファ層11

3の厚さは一樣としているが、図4あるいは図5のような溝をバッファ層に形成してもよい。

【0040】前述した基板101、バッファ層113、及び電極114の溝115、116、117、118は、光導波路102、103に必ずしも沿う必要はなく、斜めに形成しても、また、複数の溝を並べて形成しても同様の効果がある。

【0041】また、溝の上に形成する層を平坦化する場合、例えば溝117を有するバッファ層113上の電極114を平坦化しようとする場合、溝117に応力を開放しやすい材料、例えば軟質樹脂等を充填する、あるいは、溝117を空隙としても、応力がほとんど生じることはないので、上記と同様の効果がある。

【0042】前記実施例1、2では、基板に溝を形成した例を中心に示したが、基板、バッファ層、電極のいずれか一つに溝を形成する、あるいはそれらを組み合わせても同様の効果がある。

【0043】また、光導波路として、リッジ形的光導波路を用いた例を示したが、図10の従来例で示した光導波路と同じ拡散形光導波路、あるいは埋め込み形光導波路等の光導波路を用いなくても同様の効果がある。

【0044】さらに、バッファ層を形成した例を示したが、バッファ層がなく基板上に直接電極を形成した場合、例えば、 $x$ カットLiNbO<sub>3</sub>基板を用いた光変調器等に対しても、基板あるいは電極に溝を形成して同様の効果を得ることができる。

【0045】なお、本発明は、前述の実施例に限定されるものではなく、光の位相を制御することを利用する種々の光制御素子、例えば方向性結合器の光スイッチやバランスブリッジ形的光強度変調器等に対しても適用できる。

【0046】本発明に用いる基板及びバッファ層の材料・光導波路の形状・電極の形状等も前述の実施例に限定されない。例えば、基板材料としては、LiTaO<sub>3</sub>、BaTaO<sub>3</sub>等の強誘電体、GaAs、InP等の半導体あるいは有機材料等を用いることができる。

【0047】また、バッファ層材料としては、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、有機材料等を用いることができる。電極形状としては、高速化に適した進行波形の電極、集積化あるいは低駆動電圧化に適した電極等を用いることができる。

【0048】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明の光制御素子によれば、電気光学効果を有する基板上にバッファ層と電極を備えた光変調器や光スイッチ等において、少

なくとも基板、もしくはバッファ層、もしくは電極の光導波路近傍かつ光導波路を伝搬する光波の界分布に影響を与えない程度離れた位置に、所定の幅、長さ及び深さを有する溝を設けることにより、デバイスの作製時あるいは使用時に発生した内部応力が、基板、バッファ層、あるいは電極の溝で開放されるために、光導波路に加わる内部応力が無くなり、光導波路の抵抗率減少が生じることがなく、正常な正弦波状の光出力を安定して出力することができる。

10 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明をマッハツェンダ形的光変調器に適用した実施例1の概略構成を示す平面図、

【図2】 図1のA-A線断面図、

【図3】 実施例1の基板の光導波路近傍に形成した溝の深さ、幅、長さに対する光導波路近傍の応力及び抵抗率の関係を示す図、

【図4】 本発明の実施例2の概略構成を示す断面図、

【図5】 本発明の実施例3の概略構成を示す平面図、

【図6】 図5のB-B線断面図、

20 【図7】 本発明の実施例4の概略構成を示す断面図、

【図8】 図7のA-A線断面図、

【図9】 従来のマッハツェンダ光強度変調器の制御の一例を示す概略平面図、

【図10】 図9のA-A線断面図、

【図11】 図9に示す従来のマッハツェンダ光強度変調器の基板及び光導波路、バッファ層を電気的な等価回路で示した図、

【図12】 図11の抵抗及び静電容量により、光導波路に実効的に印加される電圧の時間変化を示す図、

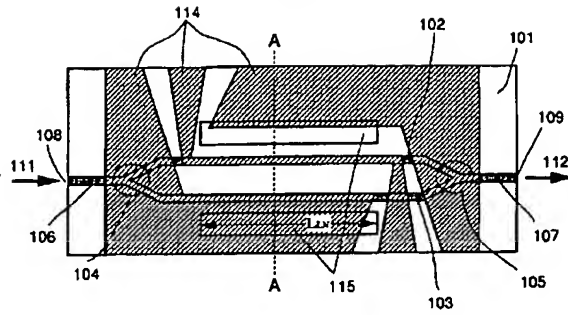
30 【図13】 入力信号と出力波形の関係を説明するための説明図。

【符号の説明】

101…基板、102、103…位相変調部光導波路、  
104…分岐部光導波路、105…合波部光導波路、106…入力光導波路、107…出力光導波路、108…入射端、109…出射端、111…入射光、112…出射光、113…バッファ層、114…進行波電極、115…光導波路近傍の基板に形成した溝、116…光導波路近傍のバッファ層に形成した溝、117…基板の溝の方向と交差するように光導波路近傍のバッファ層に形成した溝、118…光導波路近傍の電極に形成した溝、121…基板の光導波路近傍に発生した応力 $\sigma_{11}$ 、122…バッファ層の光導波路近傍に発生した応力 $\sigma_x$ 、123…バイアス電圧、124…電気力線。

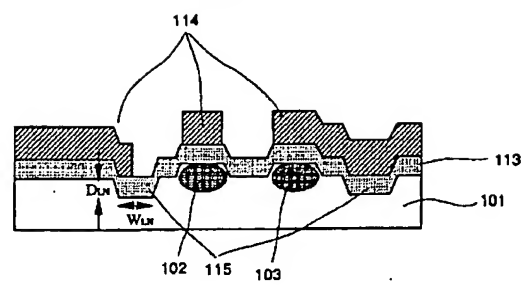
【図1】

図1



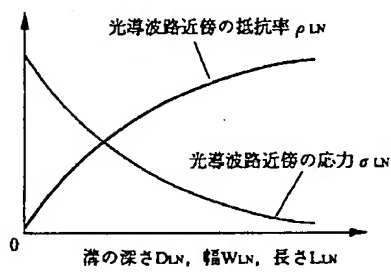
【図2】

図2



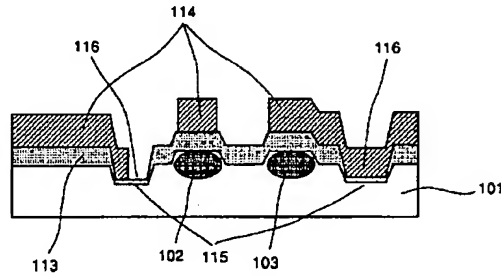
【図3】

図3



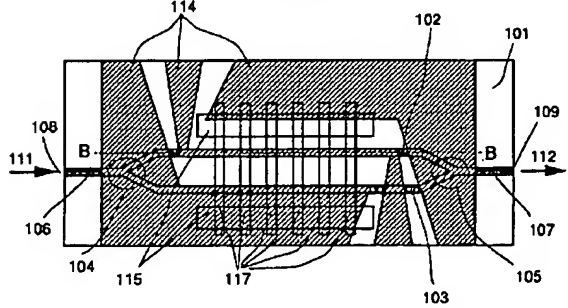
【図4】

図4



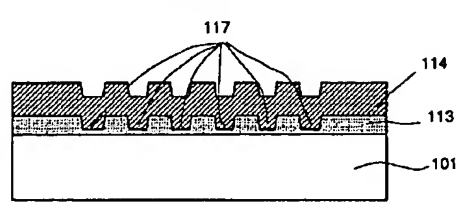
【図5】

図5



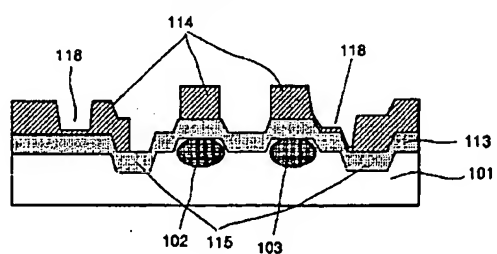
【図6】

図6



【図8】

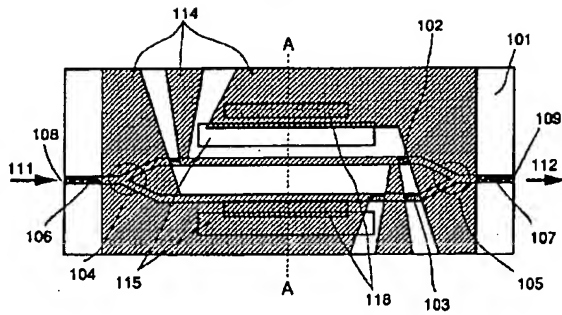
図8





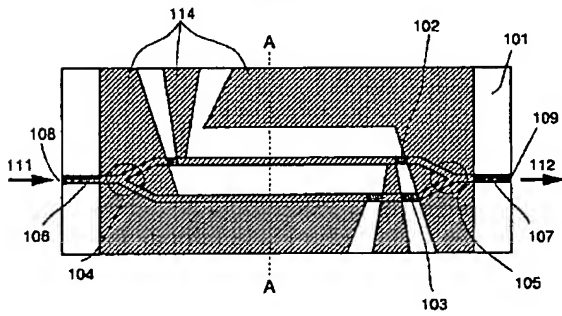
【図7】

図7



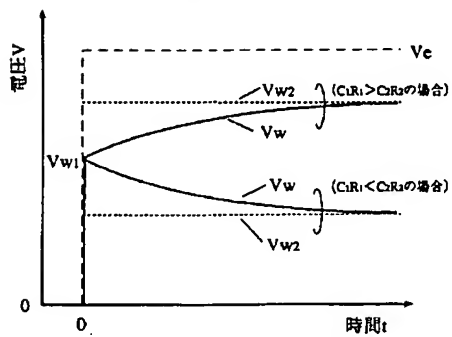
【図9】

図9



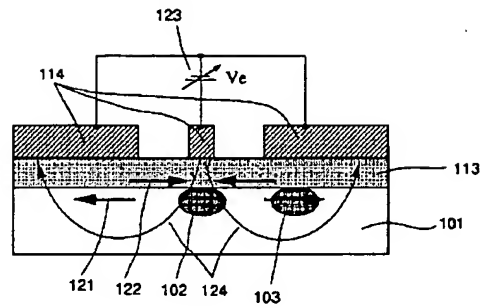
【図12】

図12



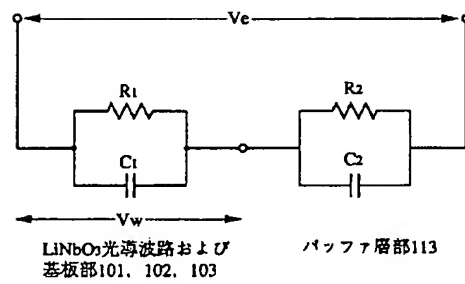
【図10】

図10



【図11】

図11



【図13】

図13

